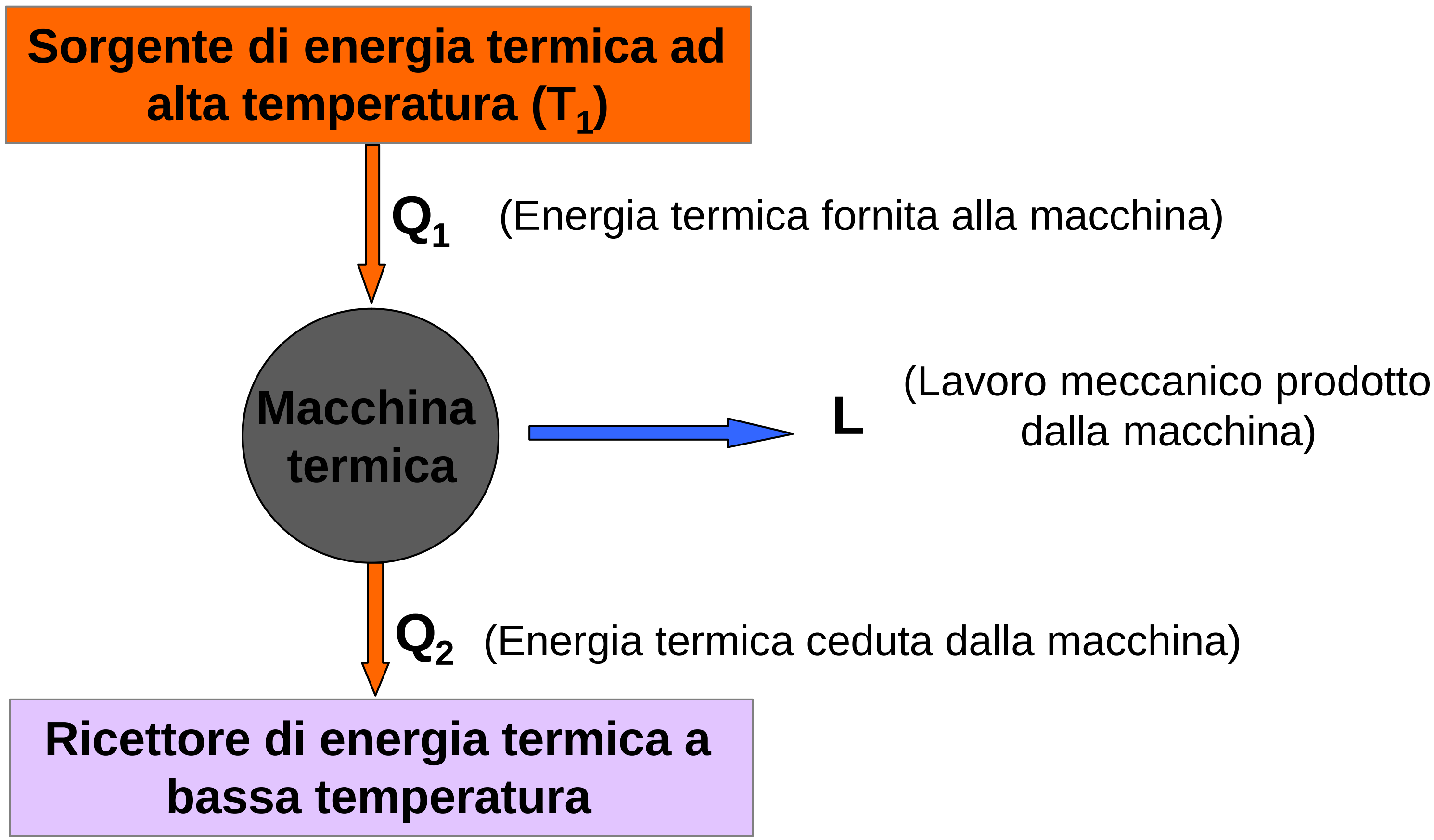
Termodinamica

Prof. Ing. Cesare Boffa



$Q_1 - Q_2 = L$ **1° Principio della Termodinamica**

$Q_2 > 0$ **2° Principio della Termodinamica**

$$h = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

Prof. Ing. Cesare Boffa

ENERGIA TERMICA → MACCHINA TERMICA → ENERGIA MECCANICA

$$h < 1$$

h = **Rendimento termodinamico =** $\dfrac{\text{energia (meccanica) prodotta}}{\text{energia (termica) fornita}} = \dfrac{L}{Q_1}$

BENZINA
GASOLIO
METANO
G.P.L. → MOTORE
AUTO → ENERGIA MECCANICA
(MOTO DEL VEICOLO)

$$h \cong 0 \div 70\%$$

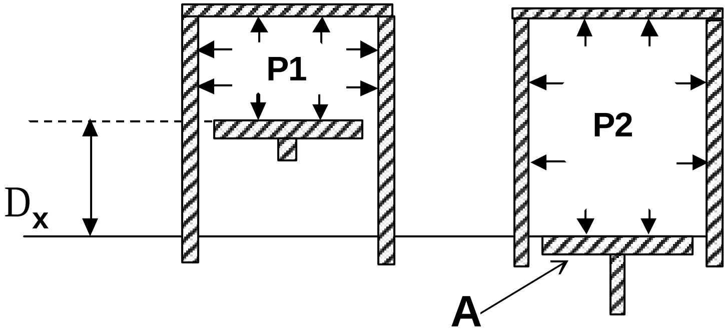
METANO
OLIO COMBUST.
CARBONE
(NUCLEARE) → CENTRALE
TERMOELETTRICA
(NUCLEARE) → ENERGIA
MECCANICA
ALL'
ALTERNATORE → ALTERNATORE → ENERGIA
ELETTRICA
ALLA
RETE

$$h \cong 0{,}3 \div 0{,}56$$

$$h = 0{,}99$$

Prof. Ing. Cesare Boffa

Lavoro

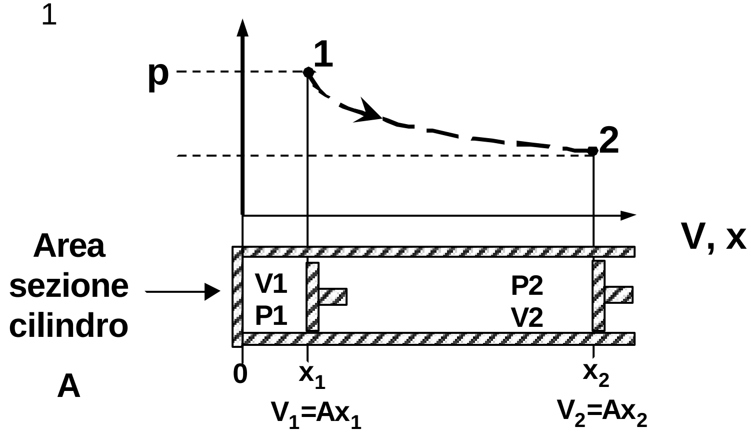


Lavoro termod. = $\text{đ}L = F \cdot dx = pAdx = pdV$

Lavoro termod. = $L_{1,2} = \int_1^2 pdV$

Per poter integrare occorre conoscere la relazione tra p e V

Se p = COST $L_{1,2} = \int_1^2 pdV = p(V_2 - V_1)$



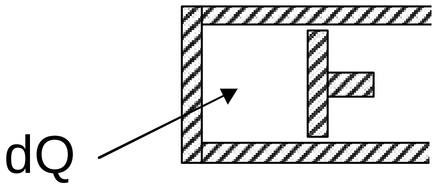
Energia termica

$dq = c\,dt$ per unità di massa

calore specifico

$dQ = cM\,dt$

massa del sistema



L'energia termica viene fornita alla macchina termica cioè viene introdotta nel cilindro del motore attraverso il combustibile.

All'interno del cilindro il combustibile "brucia", cioè subisce un processo di combustione (ossidazione) in presenza dell'ossigeno dell'aria, esotermico.

$CH_4 + 2O_2 \Rightarrow CO_2 + 2H_2O$ + energia termica + inquinanti atmosferici

(p.c.i.) **(NOx, PM_{10}, $PM_{2,5}$, CO ecc)**

(p.c.s.)

L'energia termica prodotta $\Delta\dot{Q}_1$ nella unità di tempo è data dalla

$$\Delta\dot{Q}_1 = \dot{m} * \text{p.c.i.}$$

$\dot{m} =$ portata di combustibile

$\text{p.c.i.} =$ potere calorifico inferiore del combustibile

p.c.i. metano $\cong$ 8.250 kCal/Nm^3

p.c.i. benzina $\cong$ 10.000 kCal/kg $\cong$ kCal/l

L'aumento di temperatura ΔT_1 provocato nel cilindro dalla combustione del combustibile si ricava dalla

$$\Delta\dot{Q}_1 = c\dot{M}\Delta T_1$$

in cui c = calore specifico della miscela aria + combustibile

$\dot{M}$ = portata in massa della miscela

Si consideri un motore ad accensione comandata, 4 cilindri, 4 tempi, 2000 cm^3 di cilindrata.

Si supponga che il motore sviluppi una potenza di 60 kW a 3000 giri/min e che, in queste condizioni, faccia muovere la vettura (a velocità costante, in pianura) a 120 km/h.

Il consumo specifico di benzina è pari a 10 l/100 km.

Calcolare il rendimento termodinamico del motore.

p.c.i. benzina = 43,9 MJ/kg

densità benzina = 0,72 kg/dm^3

In 1 h la vettura percorre una distanza pari a 120 km e consuma

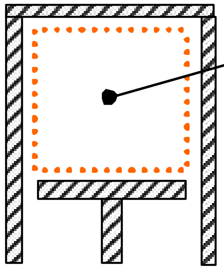
$$120 \cdot \frac{10}{100} = 12 \text{ l/h di benzina}$$

Consumo di benzina in 1 sec $\frac{12}{3600} = 0{,}0033 = 3{,}310^{-3} \quad l/sec$

$$\dot{Q} = \underset{[l/sec]}{3{,}3 \cdot 10^{-3}} \cdot \underset{[J/kg]}{43900000} \cdot \underset{[kg/dm^3]}{0{,}72} = \underset{[W]}{104306{,}4}$$

$$h = \frac{60000}{104306{,}4} = 0{,}575$$

Sistema termodinamico



Approccio macroscopico

Sistema chiusi o aperti

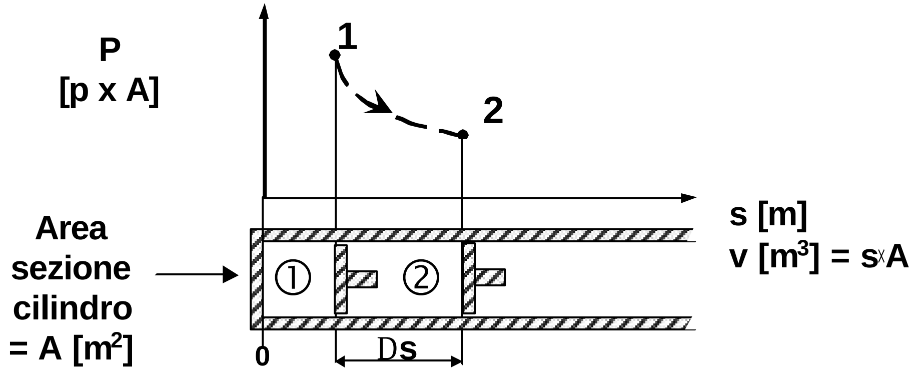
Stato di equilibrio { meccanico — risultante nulla
termico — ΔT nulli

Trasformazioni (termodinamiche)

→ stato termodinamico (fluido omogeneo, 1 sola specie chimica)

→ è univocamente definito dal valore di 2 sole variabili indipendenti

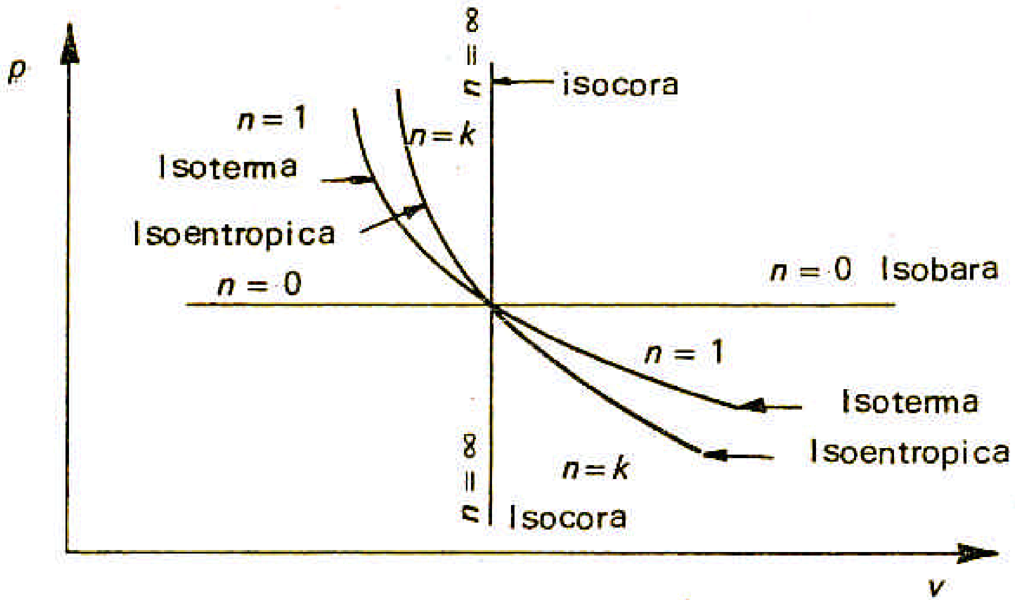
P,T v, u, h, s



La politropica può considerarsi come una trasformazione più generale, che comprende le quattro precedenti. Infatti si ha, per un gas ideale (fig. 3.8)

isocora	$v = \text{cost.}$	$dv = 0$	$c = c_v$	$n = \infty$
isobara	$p = \text{cost.}$	$dp = 0$	$c = c_p$	$n = 0$
isoterma	$pv = \text{cost.}$	$dT = 0$	$c = \infty$	$n = 1$
isentropica	$pv^k = \text{cost.}$	$đq = 0$	$c = 0$	$n = k$

I cicli formati da quattro politropiche che, a due a due opposte, sono caratterizzate dall'avere nell'equazione che le rappresenta il volume elevato al medesimo esponente, godono di particolari proprietà relative alle coordinate dei vertici, che vengono ora illustrate.



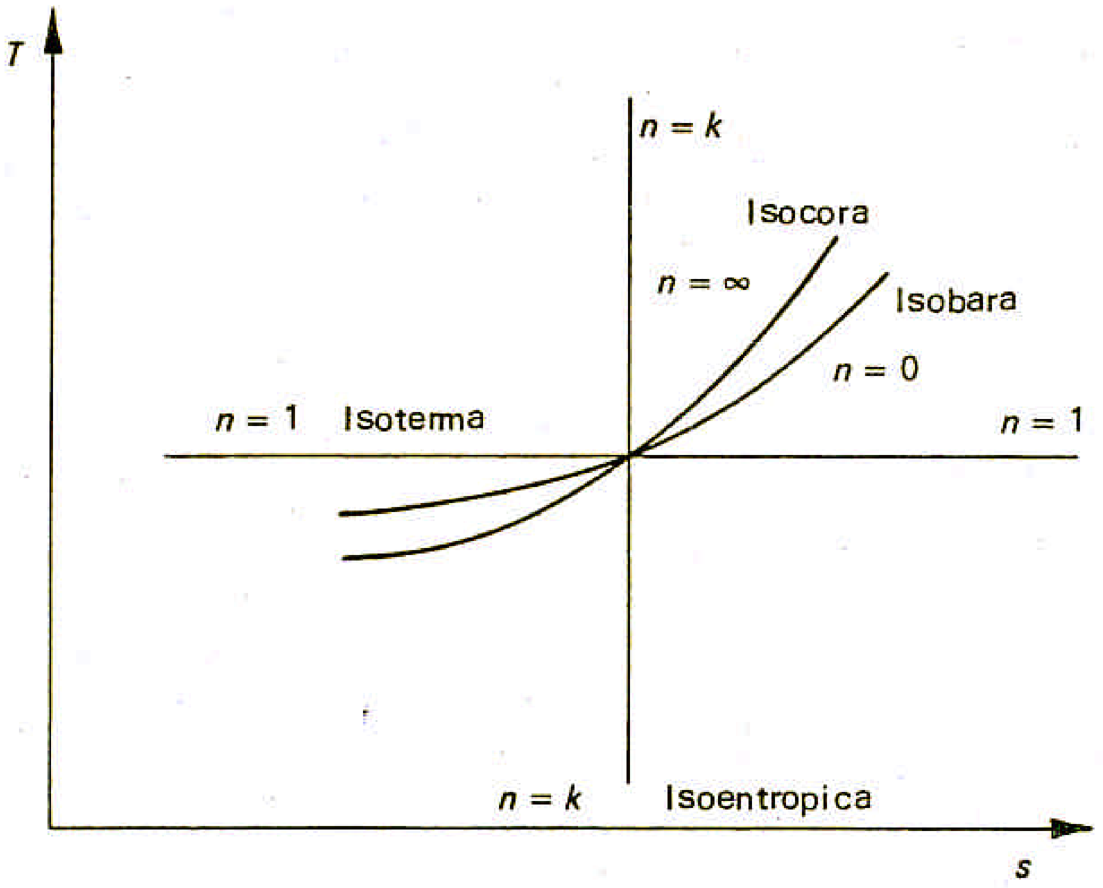


Fig. 3.8 - Rappresentazione di trasformazioni politropiche notevoli.

Consideriamo il ciclo a quattro politropiche rappresentato in fig. 3.9.

Le due trasformazioni ab, cd ubbidiscono alla legge $pv^{n_1} = \text{cost.}$ e le due bc, da alla legge $pv^{n_2} = \text{cost.}$ Si avrà dunque

$$
\begin{aligned}
p_a v_a^{n_1} &= p_b v_b^{n_1} \\
p_b v_b^{n_2} &= p_c v_c^{n_2} \\
p_c v_c^{n_1} &= p_d v_d^{n_1} \\
p_d v_d^{n_2} &= p_a v_a^{n_2}
\end{aligned}
\qquad [3.5.42]
$$

da cui, moltiplicando membro a membro si ricava

$$v_a v_c = v_b v_d \qquad [3.5.43]$$

cioè il prodotto dei volumi in due vertici del ciclo non consecutivi è uguale al prodotto dei volumi negli altri due vertici.

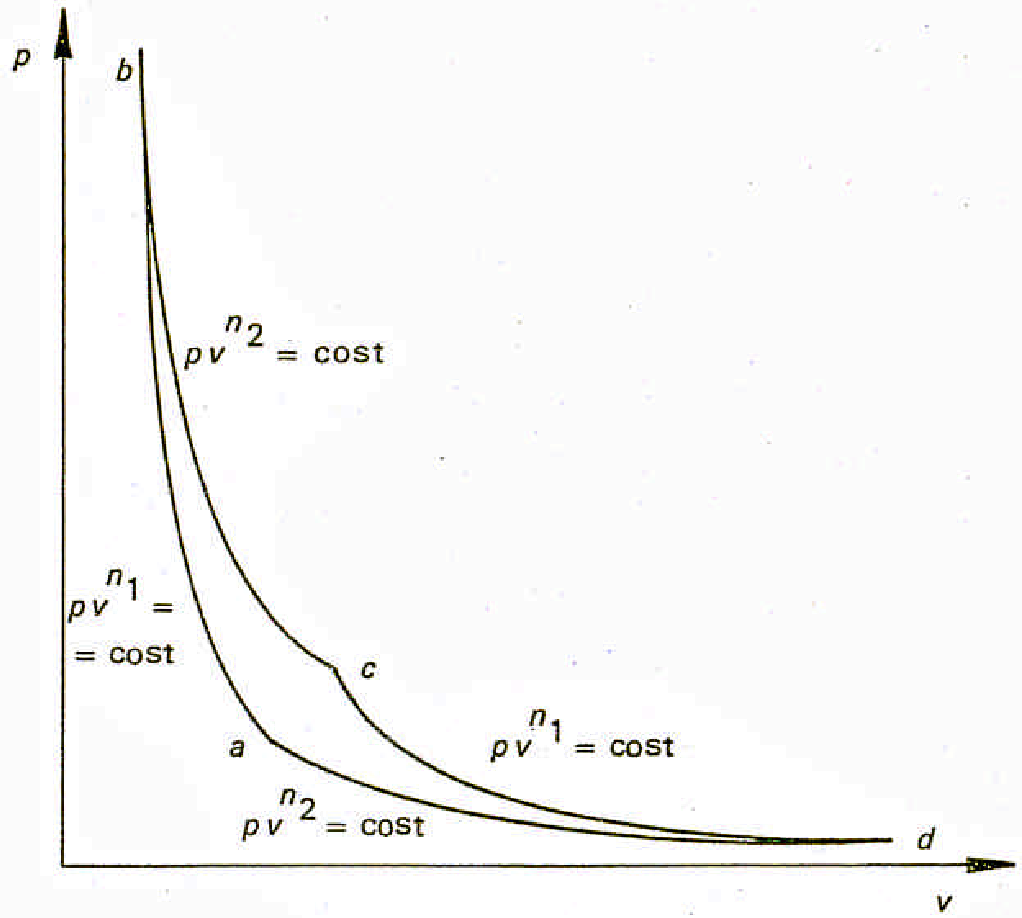


Fig. 3.9 - Ciclo a quattro politropiche.

Prof. Ing. Cesare Boffa

Operando in modo analogo e ricorrendo alla equazione di stato dei gas ideali si ricava

$$p_a p_c = p_b p_d \qquad [3.5.44]$$

$$T_a T_c = T_b T_d \qquad [3.5.45]$$

cioè vale anche per le pressioni e per le temperature assolute la proprietà indicata per i volumi.